

초임계 이산화탄소에 의한 미역의 효과적 추출

이 석 회 · 천 재 기 · 주 창 식

부경대학교 공과대학 화학공학과
(1999년 2월 22일 접수, 1999년 5월 20일 채택)

Effective Extraction of Sea Mustard with Supercritical Carbon Dioxide

Seok-Hee Lee, Jae-Kee Cheon and Chang-Sik Ju

Department of Chemical Engineering,
Pukyong National University

(Received 22 February 1999 ; Accepted 20 May 1999)

요 약

초임계 이산화탄소 및 보조용매를 사용하여 미역분말로부터 지방질의 추출특성을 조사하였다. 지방질의 추출속도는 미역입자가 작을수록, 압력이 높을수록, 온도가 낮을수록, 유량이 많을수록 증가하였으나, 지방질의 추출수율은 주어진 조건에서 거의 일정하였다. 본 연구의 실험범위에서 최적조건은 미역입자 $300\mu\text{m}$, 초임계 이산화탄소의 온도 313K , 압력 13.8MPa 및 유량 30L/min 이었고, 이 때 추출수율은 $1.45\text{wt}\%$ 이었다. 동일농도의 보조용매를 사용한 경우에 탄올은 메탄올과 헥산보다 더 좋은 추출수율을 나타내었으며, 에탄올을 보조용매로 첨가한 경우는 이산화탄소만을 사용한 경우보다 2.21배의 추출수율의 상승효과가 있었다. 물질전달 매개변수 k_d 값은 초임계 이산화탄소만을 사용한 경우에 체류시간 또는 지방질의 평균농도가 감소함에 따라 증가하였으나, 에탄올을 보조용매로 사용한 경우는 반대 결과가 되었다.

Abstract - The extraction characteristics of lipids from powdered sea mustard have been investigated by the use of supercritical carbon dioxide(SC-CO₂) and cosolvents. The extraction rate was increased as the particle size of the sea mustard is smaller, the pressure is higher, the temperature is lower, and the quantities of the fluid is more. However, the extraction yield of lipids from sea mustard was almost constant at a given condition. The optimum extraction condition was determined with the extraction yield of $1.45\text{wt}\%$ at $300\mu\text{m}$ of particle size, 313K of SC-CO₂ temperature, 13.8MPa of pressure, and 30L/min of flow rate. Ethanol was the most efficient cosolvent among ethanol, methanol, and hexane. The extraction yield was increased at about 2.21times by the addition of ethanol as a cosolvent to SC-CO₂. As the residence time and the average concentration of lipids were decreased, the mass transfer parameter(k_d) was increased. But the opposite result was obtained when the ethanol was used as cosolvent.

Key words : Sea mustard, Supercritical carbon dioxide, Extraction rate, Cosolvent

1. 서 론

식용해조류의 하나인 미역은 우리나라 전 해안에 서식하는 갈조류로서 무기질 성분인 칼슘과 요오드, 비타민, 단백질 및 당질 등을 다량

함유하고 있어 산모나 병약자의 건강을 회복하는데 필수적인 식품이다. 미역의 이용은 이제까지 건조미역과 염장미역의 형태로 제조되고 있고, 생산량은 계속 증가함으로써 효율적인 섭취를 위하여 특수 가공제품이 요구되고 있다.

특히 조미료뿐만 아니라 현대인의 건강식품에 관심이 높아지면서 해조류를 추출하여 이용하고자 하는 연구가 진행되고 있다.^{1,2)}

식물에서 유효성분을 분리하기 위해서 압착법, 수증기 증류법 및 용매 추출법이 주로 사용되어 왔다. 압착법은 장치와 조작이 간단하고 쉬운 반면 수율이 낮기 때문에 용매 추출법을 병행하기도 한다. 수증기 증류법은 식물성 지방산의 끓는점보다 낮은 온도에서 분리하기 위해서 사용되며, 열에 변질되기 쉬운 성분이 많을 때는 곤란하다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 용매 추출법은 적당한 용매의 선택이 중요하고, 추출물에서 용매와 용질을 분리하기 위해서 새로운 분리공정을 거쳐야 하기 때문에 이 공정에서 용매와 용질의 손실과 변질을 피하기가 어렵고, 또한 용질 중에 용매의 일부가 잔존할 가능성이 있다.³⁾

위와 같은 단점을 보완한 초임계 유체에 의한 추출공정은 신분리기술로 평가받고 있다. 이 공정은 특정성분을 추출·분리하는 식품, 의약품 및 향료공업에 이용되었고⁴⁾, 석유공업에서 잔류유 추출⁵⁾, 고분자공업에서 높은 점성액체로부터 낮은 증기압을 갖는 물질의 추출⁶⁾, 유기합성공업에서 반응 매개체로 활용⁷⁾, 토양과 수질에 존재하는 유해한 유기물의 제거⁸⁾ 및 초임계 유체의 빠른 팽창으로 초미립자 생성⁹⁾에도 적용되고 있다. 사용되는 유체는 많으나 이산화탄소는 불연성 및 무독성이며 임계온도가 상온에 가깝기 때문에 주로 사용된다. 또한 순수한 이산화탄소만을 사용하면 용질의 용해도나 선택도가 좋지 않으므로, 용질과 친화력이 좋은 보조용매(cosolvent)를 소량 첨가한 초임계 혼합유체를 용매로 사용하여 용질의 추출량을 증가시키는 연구가 많이 수행되었다.^{10,11)}

본 연구에서는 초임계 상태의 이산화탄소 용매를 사용하여 건강식품으로 관심을 갖는 미역분말로부터 지방질의 추출속도를 입자크기, 압력, 온도 및 유량 등의 변화에 대해 조사하였다. 그리고 초임계 이산화탄소와 보조용매로 지방질의 추출수율을 측정하여 보조용매의 종류와 농도의 영향에 대해서도 검토하였다. 또한 물질 이동현상에 기인한 물질전달속도를 구하였다.

2. 실험

2.1. 시료 및 시약

본 실험에서 사용한 미역은 생산지가 가장인 건조된 미역을 시장에서 구입하여 진공건조기(JEIO TECH, VO-10X)로 60℃에서 2일동안 건조하였다. 건조미역을 분쇄기(Hanil, 680T)를 이

용하여 적당한 입자크기로 분쇄한 미역분말을 잘 혼합한 후, 밀봉한 상태로 냉장고에 보관하면서 추출용 시료로 사용하였다. 추출용매로는 순도 99.8% 이상인 이산화탄소를 사용하였고, 보조용매로 사용된 에탄올, 메탄올 및 헥산은 특급시약을 그대로 사용하였다.

2.2. 실험장치

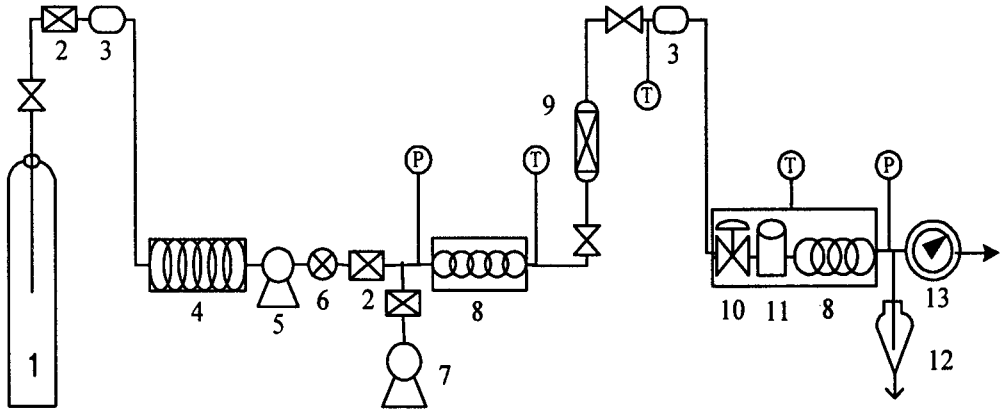
초임계 유체 추출장치의 개략도는 Fig. 1과 같다. 파이프라인은 외경 1/8"와 1/4" 고압용 스테인레스강이며 각종 밸브와 관이음쇠는 30MPa까지 사용할 수 있는 Swagelok사의 제품을 사용하였다. 이산화탄소는 사이폰관이 설치된 실리더로부터 액체상태로 체크 밸브를 거쳐 냉각조(JEIO TECH, RBC 05)에 공급되고, 고압 피스톤펌프(Milton Roy Co.)에 의해 초임계 압력으로 가압하며 압력측정은 Heise 압력계(Cole Parmer Co.)를 사용하였다. 펌프 주입부의 공동화를 방지하기 위하여 cooling jacket를 설치하였고 가압된 이산화탄소는 역압조절기와 고압펌프 stroke에 의하여 압력이 조절되어 추출기로 이송된다. 추출기는 외경 50mm, 내용적 300mL의 원통형 용기이고, 온도는 항온조에 의해서 $\pm 1^\circ\text{C}$ 로 조절되며 각종 온도는 digital bench thermometer(Fluke Co. Model 461)로 측정하였다.

추출기 출구로 나오는 고압의 혼합물은 가온된 역압조절기와 metering valve를 통과하여 분리기에서 대기압으로 감압·팽창되면서 탄산가스과 추출물로 분리된다. 이 때 통과하는 탄산가스의 유량은 진식 가스미터(Sinagawa Co. Model DC-2A)를 사용하여 측정된 후 대기 중에 방출하였다. 보조용매를 사용하기 위하여 보조용매 펌프(Eldex, Model S2 CE)를 추출기 입구의 주라인 쪽에 연결하였다.

2.3. 실험방법

미역분말 100g을 정확히 평량한 후 추출기에 넣고 시료가 흐르지 않도록 추출기 양끝을 목화솜으로 막고 라인에 고정시킨다. 이산화탄소 고압펌프 주입부의 공동화현상을 막기 위하여 냉각조의 온도를 미리 -20°C 까지 냉각시키고, 항온조를 예열시켜 추출온도로 맞춘다.

이산화탄소의 실린더 밸브와 check valve를 열고 고압펌프를 작동시켜 이산화탄소를 추출기로 공급한다. 이 때 추출압력은 압력계의 눈금을 보면서 고압펌프의 stroke와 역압조절기로 조절한다. 추출기의 출구밸브를 서서히 열어 분리기의 압력이 약 30bar에 도달하면 metering valve를 열어 추출물과 분리된 이산화탄소를 방출시키고 유량을 유량계로 측정한다.



- | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 1. CO ₂ cylinder | 2. Check valve | 3. Filter |
| 4. Cooling bath | 5. High pressure pump | 6. Safety valve |
| 7. Cosolvent pump | 8. Preheater | 9. Extractor |
| 10. Metering valve | 11. Back pressure regulator | 12. Separator |
| 13. Gas meter | P. Pressure gauge | T. Temperature indicator |

Fig. 1. Schematic diagram of supercritical fluid extraction apparatus.

보조용매를 사용하는 경우 전체 추출공정이 추출하고자 하는 조건으로 정상상태에 도달하였을 때, 보조용매 펌프를 작동시켜 보조용매를 주입시켜 보조용매의 종류 및 농도의 변화에 대한 추출수율을 측정하였다. 추출실험을 끝낸 후 추출기로부터 시료를 뽑아내어 질량을 측정하고, 분리기에 있는 추출된 지방질은 성분 분석을 위해 (다음 논문에 발표 예정) 에탄올에 용해시켜 보관하였다.

그리고 추출수율도 감소하는 것을 의미한다. 특히 입자크기 100과 300 μm 는 추출속도 및 추출수율에서 서로 큰 차이가 없으므로 이후의 실험은 분쇄하기 쉬운 300 μm 크기를 사용하였다. 이러한 현상은 입자크기가 작을수록 초임계 이산화탄소가 고체 입자 내에 침투하는 침투경로가 짧아지므로 고체 입자내의 확산저항이 감소하기 때문¹²⁾일 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 추출속도에 대한 시료크기의 영향

미역 입자크기가 추출속도에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 건조미역을 분쇄하고 표준체를 이용하여 평균직경 100, 300 및 1000 μm 의 입자로 분급하여 사용하였다. 추출기에 입자크기가 다른 시료를 100g씩 충전하고 초임계 이산화탄소의 30L/min 유량과 일정한 온도와 압력에서 지방질을 추출하여, 이산화탄소의 통과량에 대한 추출수율의 결과를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서 보면 입자 100 μm 인 경우 추출평형은 45kgCO₂/kg sample에서 일어나며 이것은 입자가 작을수록 추출속도가 빠르고 추출평형에 빨리 도달하는 것을 나타낸다. 반면에 입자 1000 μm 인 경우 추출평형은 60kgCO₂/kg sample에서 일어나며, 또한 입자크기가 커지면 추출속도가

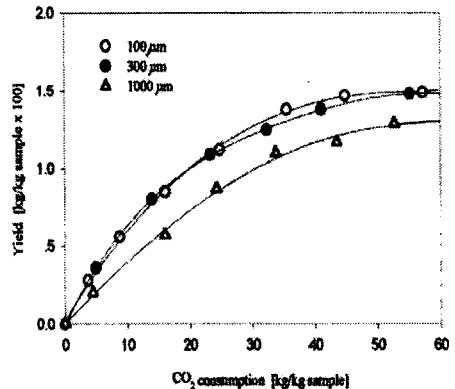


Fig. 2. Effect of sample size on the extraction yield of sea mustard with supercritical CO₂ at 313 K and 13.8MPa.

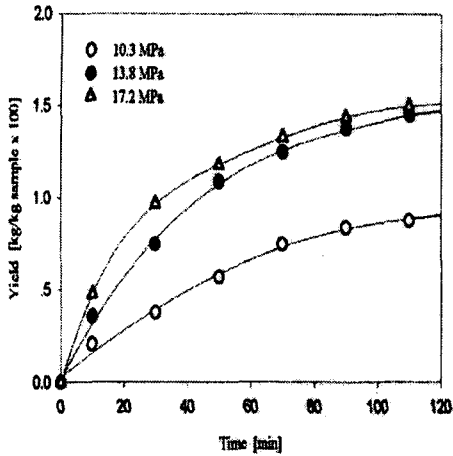


Fig. 3. Extraction yield as function of time for various pressure of CO₂ at 313 K and flow rate 30L/min.

3.2. 추출속도에 대한 압력의 영향

Fig. 1의 실험장치의 추출기에 입도 300 μ m 건 조미역 100g을 충전하여 초임계 이산화탄소를 30L(STP)/min의 일정유량으로 공급하였을 때, 일정한 추출온도에서 미역유분의 추출수율에 미치는 압력의 영향을 추출시간에 대해 나타내었다. Fig. 3은 추출온도 313K에서 초임계 이산화탄소를 용매로 사용하였을 때 추출시작 110분 지난 후에 추출평형에 도달하였고, 최대 추출수율은 10.3MPa에서 0.88wt%, 13.8MPa에서 1.45wt%, 17.2MPa에서 1.50wt%의 추출수율을 나타내었다. 추출속도와 추출수율은 추출압력 13.8MPa와 17.2MPa 사이에서는 큰 영향이 없으나 추출압력이 낮은 10.3MPa에서는 영향이 크다. 이와 같이 추출압력이 증가할수록 추출속도가 현저히 증가되었는데 이는 초임계 상태에서는 용해도가 밀도에 크게 의존하기 때문에 압력이 증가함에 따라 추출수율이 크게 증가되는 것으로 볼 수 있다. 그러나 추출압력이 어느 이상 높은 상태에서는 추출압력이 증가할수록 추출속도와 추출수율의 증가에 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있다.

3.3. 추출속도에 대한 온도의 영향

추출압력 13.8MPa에서 초임계 이산화탄소를 30L(STP)/min의 유량으로 공급하여 미역의 지방질을 추출하였을 때, 추출수율과 이산화탄소의 소비량에 대한 추출온도의 영향을 Fig. 4에 나타내었다. 실험 결과를 보면 추출온도 303K와 323K에서 추출수율은 각각 1.45wt%와 1.33wt%로 나타났으며, 추출온도 303K와 313K

사이에서 추출속도와 추출수율의 차이는 크지 않았다. 온도의 영향은 압력의 영향에 비해 매우 작았으며 일정압력에서 온도가 낮을수록 추출수율이 조금씩 증가하는 경향이였다. 따라서 온도변화에 따른 추출수율을 관찰한 결과 온도 303K~313K에서 추출수율이 가장 높게 나타났다.

천연물질의 초임계유체 추출과정에서 온도의 영향은 추출압력에 따라서 교차현상이 있으며, 이것은 초임계 이산화탄소의 밀도와 용질의 용해도 사이의 경쟁효과로 설명하고 있다¹³⁾. 즉 추출압력 30MPa 정도까지는 온도가 낮을수록 추출 용해력이 증가하고 30MPa 이상에서는 온도가 높을수록 추출 용해력이 증가함을 알 수 있다. 본 실험에서는 실험장치의 한계성으로 인하여 30MPa보다 낮은 압력에서 수행하였으므로 교차현상은 나타나지 않았다.

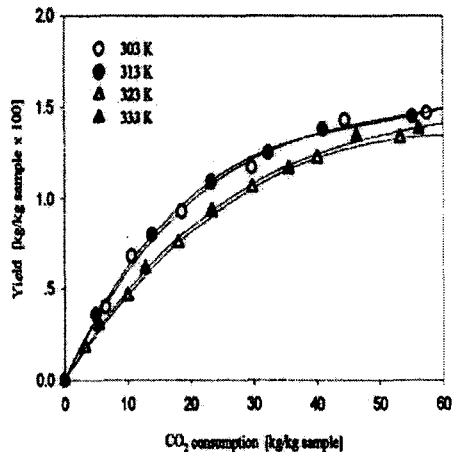


Fig. 4. Effect of temperature on the extraction yield of sea mustard with supercritical CO₂ at 13.8MPa.

3.4. 추출속도에 대한 유량의 영향

초임계 이산화탄소의 유량이 추출속도에 미치는 영향을 고찰하기 위하여, 일정한 온도와 압력에서 유량을 변화시킨 추출수율의 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 초임계 이산화탄소의 유량 15L(STP)/min과 30L/min을 비교하면, 유량이 커질수록 물질전달속도가 커져서 추출속도가 빨라지는 현상을 나타내고 있으며, 일정온도와 압력에서 최종 추출평형은 유량변화에 관계없이 거의 일정하게 1.45wt%의 추출수율을 나타내고

있다. 그러나 이산화탄소의 유량 30L/min과 45L/min에서 유량이 큰 편이 이산화탄소 통과량을 기준으로 한 추출수율과 추출속도가 오히려 감소하는 경향을 보이고 있다. 이것은 초임계 이산화탄소의 유량이 너무 클 때는 입자내의 확산저항이 추출속도를 지배하지 못하고, 또한 추출물의 일부가 방출되는 이산화탄소와 함께 유출되기 때문에 추출된 물질의 손실이 일어나는 것으로 판단된다. 유량 45L/min에서 평형추출량은 1.28wt%로서, 오히려 낮은 유량보다 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 어떤 유량이상이 되면 추출속도에 좋은 영향을 미치지 못하므로 유량을 너무 크게 하는 것은 비경제적인 조작이므로 이후의 실험은 유량 30(STP)/min을 사용하였다.

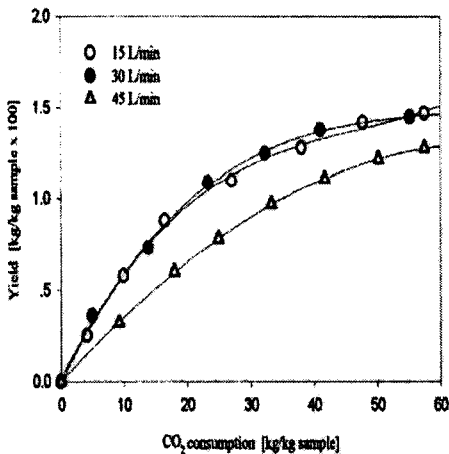


Fig. 5. Effect of flow rate on the extraction yield of sea mustard with supercritical CO₂ at 313 K and 13.8 MPa.

3.5. 추출속도에 대한 보조용매의 종류와 농도의 영향

일정한 온도와 압력에서 이산화탄소와 일정한 유량의 보조용매들로 추출실험을 실시한 결과를 Fig. 6에 표시하였다. 313K와 13.8MPa의 추출조건에서 이산화탄소만을 용매로 사용한 경우, 헥산, 메탄올 및 에탄올을 보조용매로 사용한 경우 추출수율은 각각 1.45wt%, 2.55wt, 2.96wt% 및 3.20wt%로 나타났다. 보조용매로 헥산, 메탄올 및 에탄올을 사용했을 때가 초임계 이산화탄소만을 용매로 사용했을 때보다 각각 1.76배, 2.04배 및 2.21배의 추출수율의 상승효과가 있음을 보여주고 있다.

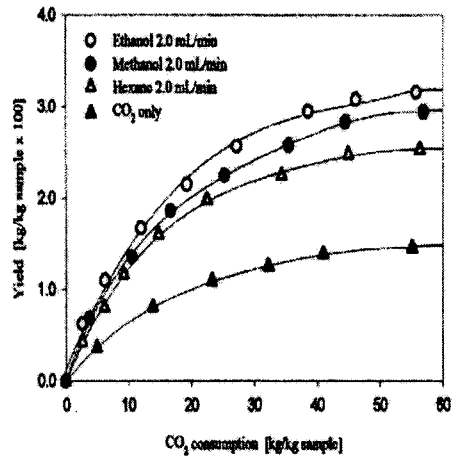


Fig. 6. Effect of cosolvents on the extraction yield of sea mustard with supercritical CO₂ at 313 K and 13.8 MPa.

이것은 극성용매가 비극성용매보다 미역유분에 미치는 용해력이 우수한 것으로 생각되며, 극성이 다른 메탄올과 에탄올에서는 극성도가 큰 에탄올의 추출수율이 가장 높게 나타났다. 헥산보다는 보조용매의 양을 약간 많이 사용하더라도 평형 추출수율이 좋고, 또한 추출된 물질을 식품으로 이용하기에 에탄올을 보조용매로 사용하는 것이 가장 적합할 것이다.

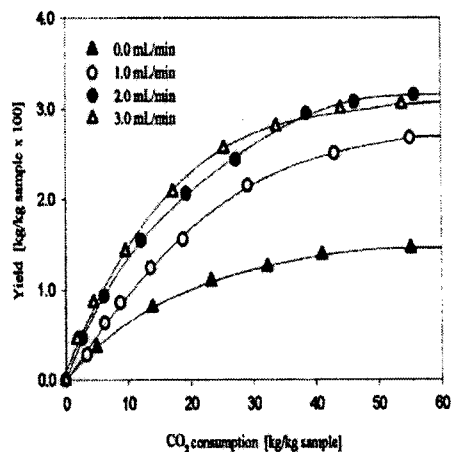


Fig. 7. Effect of ethanol concentration on the extraction yield of sea mustard with supercritical CO₂ at 313 K and 13.8 MPa.

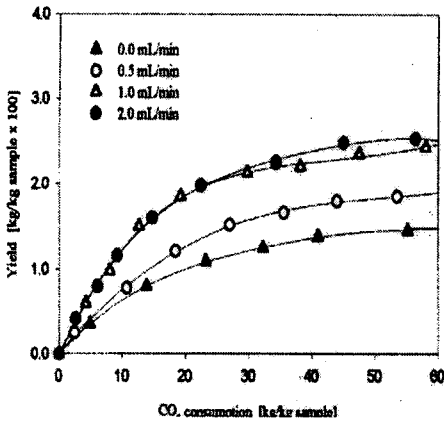


Fig. 8. Effect of hexane concentration on the extraction yield of sea mustard with supercritical CO₂ at 313 K and 13.8 MPa.

Table 1. Mass transfer characteristics for the extraction of sea mustard lipids using SC-CO₂ at 313K and 13.8MPa

Type	Cosolvent flow (mL/min)	Residence time <i>t_r</i> (min)	Average concentration <i>C_a</i> (kg of lipid/m ³ of CO ₂)	Mass transfer parameter <i>k_fa</i> × 10 ² (min ⁻¹)
CO ₂	-	7.542	0.3566	0.7299
	-	5.192	0.3252	0.9645
	-	3.559	0.2979	1.286
	-	2.846	0.2752	1.483
CO ₂ +ethanol	1.0	4.574	0.7591	2.647
	2.0	4.626	1.010	3.556
	3.0	4.802	1.209	4.173

일정한 온도와 압력에서 보조용매의 농도를 변화시키면서 실험한 추출속도의 결과를 Fig. 7 과 8에 나타냈었다. 313K와 13.8MPa의 추출조건에서 이산화탄소의 보조용매 중 에탄올과 헥산의 유량을 증가시키면 추출수율은 현저하게 증가함을 알 수 있다. 에탄올 1.0mL/min 유량으로 혼합시켰을 때 추출수율은 급격한 증가를 보이지만, 2.0 과 3.0mL/min 유량일 때는 완만한 증가를 보이고, 두 유량에서 추출속도는 비슷하였다. 여기서 유량 3.0mL/min은 과량이며 과잉량의 보조용매는 평형 추출수율을 오히려 감소시키는 경향이였다. 헥산을 보조용매로 사용했을 경우 1.0mL/min 유량이상에서는 추출수율이 비슷하게 나타났다. 헥산은 에탄올보다 적은 유량을 사용했을 때 평형 추출수율에 도달하나 최대평형 추출수율은 에탄올 쪽이 더 높았다.

보조용매 첨가에 따른 용해도 증가현상은 추출물질, 보조용매 및 이산화탄소간의 복잡한 상호작용 때문이다. Dobbs 등¹⁴⁾은 초임계 유체에서의 용해도는 주로 쌍극자와 유발효과, 산도와 염기도에 기인한다고 보고하였다.

3.6. 물질전달속도

미역분말을 채운 추출기에 313K, 13.8MPa의 초임계 이산화탄소를 통과시켜 지방질을 추출할 때, 유체는 플러그 흐름이며 추출기내에서의 유속, 공극율 및 유효확산계수가 일정하다고 가정하면, 물질전달속도는 King등¹⁵⁾의 식으로 표시할 수 있다.

$$\frac{dC}{dt} = k_f a (C_e - C_a) \quad (1)$$

여기서 *C*는 이산화탄소 흐름에서 지방질의 농도이고, *C_e*는 *C*의 평형값이며, *a*는 시료부피당 표면적이고, *k_f*는 총괄 물질전달계수이다.

평형농도 *C_e*는 313K, 13.8MPa의 이산화탄소에서 지방질의 용해도로부터 구하였고, 그 값은 6.658kg of lipid/m³ of CO₂ 이었다. 체류시간 *t*=0 에서 *C*=0 이고 *t*=*t_r* 에서 *C*=*C_a* 이므로 (1) 식을 적분하면

$$k_f a = \frac{-\ln(1 - C_a/C_e)}{t_r} \quad (2)$$

여기서 *C_a*는 추출기를 떠나는 이산화탄소 흐름에서 지방질의 평형농도이고, *t_r*은 추출기에서 이산화탄소의 체류시간이다.

고체층으로부터 물질전달의 과정은 복잡하지만, 용매 층의 외부확산, 시료내의 세공확산 및 표면확산을 포함하는 (2)식을 물질전달속도로

나타낼 수 있다. 이산화탄소의 체류시간 t_r 은 추출기의 부피를 초임계 이산화탄소의 유량으로 나누어 구하였다. 그리고 체류시간별 평균농도 C_a 는 추출 수율이 50%될 때까지 일정한 시간간격으로 추출된 지방질을 취하고 이를 소모된 초임계 이산화탄소의 조건의 부피로 나누어 계산하였다.

(2)식을 이용해서 각각의 체류시간과 그 때의 평균농도로부터 물질전달 매개변수 k_a 값을 구하여 Table 1에 나타내었다. 여기서 보면 초임계 이산화탄소만을 용매로 사용한 경우는 체류시간 및 지방질의 평균농도가 감소함에 따라 k_a 값은 증가하였으나, 에탄올을 보조용매로 사용한 경우는 앞의 결과와는 반대라는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

초임계 이산화탄소 및 소량의 보조용매를 사용하여 303~333K, 10.3~17.2MPa, 15~45 L/min 및 100~1000 μ m 입자의 추출조건에서 건조미역의 지방질을 추출하는 실험을 실시한 결과는 다음과 같다.

- (1) 미역입자가 작을수록 추출속도와 추출수율이 증가하였으나, 입자가 매우 작은 경우 추출수율은 서로 큰 차이가 없었다.
- (2) 추출압력을 증가시키면 추출속도는 현저하게 증가하였으나, 추출압력이 어느 압력 이상에서는 추출수율에 큰 영향을 미치지 못했다.
- (3) 온도가 낮아질수록 일반적으로 추출속도는 약간씩 증가하였으며 압력의 영향에 비해 그 효과는 작았다.
- (4) 유량이 증가할수록 추출속도는 증가되었고, 본 실험의 최적조건은 미역입자 300 μ m, 이산화탄소 313K, 13.8MPa 및 30L/min이며, 이 때 평형 추출수율은 1.45wt%이었다.
- (5) 순수 이산화탄소만으로 추출할 때보다 소량의 보조용매를 첨가하여 추출할 때 추출수율은 현저하게 증가되었으며, 보조용매의 농도가 증가할수록 추출수율은 증가하였다. 에탄올은 메탄올과 헥산 보조용매보다 추출수율이 우수하였으며, 에탄올을 보조용매로 첨가한 경우는 이산화탄소만을 사용한 경우보다 2.21배의 추출수율의 상승효과가 있었다.
- (6) 물질전달 매개변수 k_a 는 초임계 이산화탄소만을 사용한 경우 체류시간 또는 지방

질의 평균농도가 감소함에 따라 증가하였고, 보조용매 에탄올의 농도가 증가함에 따라 증가하였다.

Nomenclature

- a : surface area per unit volume of seed(m^2/m^3)
 C : concentration of lipid in CO_2 stream (kg of lipid/ m^3 of CO_2)
 C_e : equilibrium value of C (kg of lipid/ m^3 of CO_2)
 C_a : average concentration of lipid in CO_2 stream leaving the extractor (kg of lipid/ m^3 of CO_2)
 k_f : overall mass transfer coefficient
 t_r : residence time of CO_2 in the extractor (min)

5. 참고 문헌

1. Kim, K. H. and Cheong, J. J. : Korean J. Food Sci. Technol., 16, 336(1984).
2. Kim, W. J. and Choi, H. S. : Korean J. Food Sci. Technol., 26, 44(1994).
3. McHugh, M. A. and Krukonis, V. J. : "Supercritical Fluid Extraction, Principle and Practice", Butterworths, Stoneham, MA(1986).
4. Friedrich, J. P. and Pryde, E. H. : J. Am. Oil Chem. Soc., 61, 223(1984).
5. Paulaitis, M. E., Krukonis, V. J., Kurnik, R. T. and Reid, R. C. : Rev. Chem. Eng., 1, 179(1983).
6. Johnston, K. P. : "Supercritical fluids", 3rd ed., John Wiley & Sons, New York, 872(1984).
7. Shaw, R. W., Brill, T. B., Clifford, A. A., Eckert, C. A. and Franck, E. U. : Chem. Eng. News, 69, 26(1991).
8. Dooley, K. M., Kao, C., Gambrell, R. P. and Knopf, F. C. : Ind. Eng. Chem. Res., 26, 2058(1987).
9. Matson, D. W., Peterson, R. C. and Smith, R. D. : Adv. in Ceramics, 21, 109(1987).
10. Ikushima, Y., Saito, N. and Goto, T. : Ind. Eng. Chem. Res., 28, 1364(1989).
11. Koo, B. S., Sea, J. T. and Bae, H. K. : HWAHAK KONGHAK, 31, 229(1993).

12. Brunner, G. : "Gas Extraction", Springer, New York(1994).
13. Chimowitz, E. H. and Pennisi, K. J. : AIChE J., 32, 1665(1986).
14. Dobbs, J. M. and Johnston, K. P. : Ind. Eng. Chem. Res., 26, 1476(1987).
15. King, M. B., Bott, T. R., Barr, M. T. and Mahmud, R. S. : Sep. Sci. Tech., 22, 1103(1987).